

# LA FORÇA DELS MICROBIS

© del text: l'autor, 2004

© de l'edició: Universitat de les Illes Balears, 2004

Coberta: Jaume Falconer

Edició: Universitat de les Illes Balears. Servei de Publicacions i Intercanvi Científic.

Cas Jai. Campus universitari. Cra. de Valldemossa, km 7.5. 07122 Palma (Balears)

Impressió: JORVICH, SL. C/ del Gremi de Forners, 13. Polígon Son Castelló. 07009 Palma

DL: PM 1634-2004

## **LA FORÇA DELS MICROBIS**

Totes les formes de vida sobre el nostre planeta, i probablement també, si n'hi ha, de sistemes extraterrestres, depenen dels microorganismes. A causa de la seva petita mida, els microorganismes es dispersen amb gran facilitat i poden suportar condicions extremes de vida, per la qual cosa n'hi ha sempre que existeixi un ésser viu, de vegades de forma exclusiva, ocupant una posició monopòlica. Els microbis defineixen els límits de la biosfera. Les seves enormes capacitats metabòliques i la seva diversitat genètica han fet possible que poguessin controlar el balanç químic de la Terra durant més de dos mil milions d'anys, abans que apareguessin els primers macroorganismes. Varen fer que el planeta fos un lloc per a l'evolució d'aquestes formes més complexes de vida, però també molt menys resistents. Actualment els microorganismes continuen sent els éssers vius responsables del manteniment de la biosfera. El nostre punt de vista antropocèntric de concebre la naturalesa ha determinat que els microorganismes s'hagin tingut en compte només quan es detecta una malaltia infecciosa, quan es deterioren els aliments, algun material o un objecte d'art. Així doncs, no és estrany que s'hagin considerat durant molt de temps enemics invisibles (els coneguts «gèrmens nocius per a la salut»). Tanmateix, en aquesta exposició els presentaré com uns bons aliats dels éssers humans.

### **MIDA PETITA**

Una característica comuna de tots els microorganismes és que

tenen unes dimensions petites, de manera que no es poden observar a simple vista. La seva mida és inferior a la desena de mil·límetre ( $0,1 \text{ mm} = 100 \text{ mil·lèsimes de mil·límetre} = 100 \mu\text{m}$ ) i podem generalitzar que són unicel·lulars. Segons les seves característiques estructurals i fisiològiques o bioquímiques els podem considerar virus, bacteris, fongs, algues o protozous. La mida petita no està exempta d'un atractiu estètic, que únicament es posa de manifest mitjançant la utilització de microscopis. I per això resulta molt apropiat aplicar als microbis la filosofia de «small is beautiful» o, en català, «al pot petit hi ha la bona confitura». A aquells que vivim en un territori reduït, com és l'insular, ens resulta molt més fàcil comprendre-ho. La relació de mides entre un bacteri típic, l'home i la Terra serveix d'exemple de la manera com hem de considerar els microorganismes des de la perspectiva humana. L'intestí d'un ésser humà acull un nombre de cèl·lules bacterianes superior al nombre de cèl·lules del mateix organisme, i per als bacteris el cos humà manté la mateixa proporció de mides que el nostre cos respecte a la Terra.

La característica comuna de la mida petita té com a conseqüència immediata unes taxes metabòliques molt elevades, per la qual cosa es poden duplicar en lapsos molt breus de temps. El rècord en condicions controlades de temperatura, oxigenació i un medi complex és d'onze minuts; és a dir, si tingués suficients nutrients, la descendència d'una sola cèl·lula d'*Escherichia coli* podria assolir una massa superior a la de la Terra en tan sols tres dies. La diversitat i la flexibilitat metabòliques dels microorganismes es manifesten en les seves taxes de duplicació i en determinen en el seu conjunt l'èxit evolutiu. Són, d'altra banda, la base del seu efecte com a possibles organismes patògens i també de les possibilitats d'explotació per part de l'home, tal com es manifesten en la biotecnologia.

## **MICROBIS I SALUT**

Abans que es conegués l'existència dels microorganismes, es varen posar de manifest per mitjà de les malalties que eren capaçes de produir. Valguin com a exemple les epidèmies de pesta durant l'edat mitjana, que varen delmar la població pràcticament de tot Europa. Els metges o curanderos varen desenvolupar sistemes per evitar el contagi d'aquestes terribles epidèmies, sense saber quin n'era l'origen. No obstant això, els microorganismes que provoquen malalties no deixen de ser una excepció si consideram el conjunt de microbis, la gran majoria no patògens.

Tots els aliments, excepte els esterilitzats o acabats de cuinar, contenen bacteris vius i espores; les begudes, la pols i l'aire també contenen microbis. Per això, les mans, els cabells, la boca, la pell i els intestins de tots els humans estan colonitzats per bacteris, i la gran majoria no són patògens, no són causants de malalties, sinó que són beneficiosos. L'infant nou-nat es pot considerar pràcticament estèril, sense cap microorganisme que el colonitzi. Tanmateix, el seu intestí acollirà molt ràpidament bacteris que li arriben a través dels aliments: els habitants típics de l'intestí són *Escherichia coli*, clostridis, *Bacteroides*, bacteris làctics i algun llevat. Aquests bacteris són beneficiosos perquè en les seves fermentacions dels aliments que arriben contínuament als budells produeixen vitamines del grup B, per la qual cosa en condicions normals d'alimentació no hi ha persones que requereixin un aportament exterior d'aquesta vitamina. En condicions normals vivim amb ells en equilibri amb el nostre sistema immunològic de defensa, i aquesta microbiota comensal suposa, a més, un mecanisme per evitar la colonització per bacteris patògens, a causa de la competència que es produeix entre les poblacions de bacteris.

Els microbis també són imprescindibles en molts processos de producció i ennobliment d'aliments. La utilització de llevats en la producció de cervesa o en la vinificació, en la producció de cava o xampany i tota una coneguda sèrie de begudes alcohòliques té una llarguíssima tradició que s'inicia en els temps de Babilònia, 6.000 anys abans de Crist. Una història igualment llarga la tenen els productes lactis fermentats, del tipus dels formatges i els iogurts, on bacteris i fongs determinen les característiques organolèptiques d'aquests aliments. Vinagre, pa, col fermentada, embotits, cacau, xocolata, etc., són també producte de les transformacions d'aliments per microorganismes. En alguns d'aquests casos podem considerar que la transformació l'ha aplicat l'home inicialment com un mètode de conservació natural d'aliments peribles, encara que el resultat pugui ser molt més atractiu que el producte natural: el most respecte al vi o la llet respecte al formatge, per exemple.

El desenvolupament dels anomenats aliments funcionals no és més que un intent de compaginar el plaer de consumir en la dieta normal aliments convencionals amb la propietat addicional de produir un benefici per a la salut o per reduir el risc d'adquirir malalties. Durant molt de temps s'ha vist que aliments fermentats com el iogurt tenen un efecte beneficiós per a la salut intestinal i, en general, de tot l'individu. Aquest efecte no es deu a l'acció d'una sola molècula, sinó a la presència de

bacteris vius i dels productes del seu metabolisme. No obstant això, el màrqueting imposa certs condicionants: les cases comercials, quan anuncien els seus probiòtics, no fan referència a la presència de bacteris, sinó que prefereixen considerar-los «ferments», que és una paraula molt menys compromesa i que es ven més bé. Transferir els bacteris del iogurt amb propietats beneficioses a altres aliments és, encara avui dia, extremadament difícil, encara que s'està intentant.

Vitamines com la lisina, la vitamina C (àcid ascòrbic), la vitamina B<sub>12</sub> (cobalamina), l'àcid cítric, l'àcid làctic o l'àcid glutàmic són additius molt comuns en els aliments, tots productes obtinguts per transformacions microbianes industrials. Els mateixos microorganismes són una excel·lent font de proteïna, però la seva producció encara no està generalitzada per a ús directe com a aliment, encara que només és qüestió de temps que s'acceptin de forma general els microbis com una font alimentària.

Els mateixos microorganismes són la font dels antibiòtics que s'utilitzen amb èxit actualment. Els desenvolupaments tecnològics han permès que un producte com la penicil·lina, enormement car, que els anys quaranta es venia al mercat negre (d'estraperlo al nostre país), hagi passat a tenir un preu que és inferior al de l'envàs en el qual es ven. Les noves tecnologies genètiques han permès també el desenvolupament de nous agents terapèutics, noves vacunes i nous medicaments contra les noves malalties que van apareixent. Un cas molt singular és el del virus VIH, causant de la sida. Els primers casos es varen detectar el 1980, el virus es va descobrir el 1985 i el 1996 ja es preveia tenir una vacuna per a l'any 2002, però encara no s'ha aconseguit.

## **MICROBIS I BIOLOGIA MOLECULAR**

A mitjan anys setanta es va fer un gran salt en el coneixement de la genètica, sobretot pel que fa a la manipulació genètica dels microorganismes, que ha estat la base del que actualment es coneix com a Nova Biotecnologia o Biotecnologia Molecular. Aquesta no es restringeix als microorganismes, però en constitueixen una part molt substancial. Això ha permès millorar en gran mesura els mètodes tradicionals de producció industrial, i a més, almenys des del punt de vista teòric, es pot aconseguir que els bacteris produeixin qualsevol producte gènic que se'ns ocorri. Les possibilitats que oferia la manipulació genètica

varen ser i són causa d'intenses consideracions. Amb ajuda dels bacteris es podrien transferir gens lliurement entre tots els éssers vius i podrien escapar a l'ambient nous patògens descontrolats. Un patògen podria escapar d'algun laboratori i delmar la població, igual que havia fet la pesta a l'edat mitjana.

Durant la primera meitat del segle passat la societat havia confiat en l'èxit de la ciència i la tecnologia per millorar la qualitat de vida. L'ús bèl·lic de l'energia nuclear i els riscos que podia comportar en utilitzacions no bèl·liques varen fer que es desconfiàs àmpliament dels avenços de la ciència. Per això, i a iniciativa dels científics, el 1975 es va convocar la conferència d'Asilomar per discutir aquestes noves tecnologies, analitzar-ne els possibles riscos, establir limitacions i les condicions necessàries de seguretat biològica a l'hora de manipular genèticament microorganismes i alertar l'opinió pública. La premsa no va tenir cap inconvenient a difondre aquestes opinions. Tot això va fer que a començaments dels anys vuitanta quedàs demostrat científicament que els riscos eren molt petits i que els beneficis que s'obtindrien eren molt superiors als possibles perjudicis. El pas decisiu posterior va ser l'aplicació dels coneixements científics a la nova biotecnologia i a l'alliberament a l'ambient dels transgènics, que actualment està sotmesa a uns controls molt estrictes. La indústria aporta grans sumes de capital al desenvolupament de les tecnologies derivades de la manipulació genètica, i no ha d'estranyar que una vegada aconseguit el desenvolupament es pretengui patentar-lo.

La primera creació d'un organisme transgènic la va realitzar un científic amb l'objectiu d'obtenir un bacteri més eficaç en la lluita contra la contaminació per petroli. Les grans catàstrofes de petroliers i l'abocament consegüent de milions de litres de petroli constitueixen un dels problemes ambientals més evidents per a l'opinió pública. En aquests casos els processos d'autodepuració del mar són molt lents, i una vegada esgotats els mètodes físics de contenció, únicament es pot actuar afavorint la biodegradació per bacteris adaptats a eliminar els components més perillosos del petroli. Amb aquesta finalitat es varen aïllar bacteris que podien utilitzar independentment diferents components del petroli i es va construir genèticament un microorganisme, un «supermicrobi», que en podia consumir diversos: el bacteri A conté els gens necessaris per sintetitzar els enzims de la ruta metabòlica de degradació de la càmfora i s'encreua per conjugació amb un altre bacteri B que porta els gens necessaris per degradar l'octà i altres hidrocarburs lineals. El resultat és el

bacteri E, que porta els dos elements genètics recombinats i és capaç de degradar la càmfora i l'octà. De forma similar, i a partir dels gens obtinguts dels bacteris C i D, es va poder obtenir el bacteri G, capaç de degradar addicionalment el xilè i el naftalè. Quan es va plantejar la patent d'aquest bacteri, va ser la primera vegada que es va haver de discutir la possibilitat legal i ètica de patentar un ésser viu.

Els coneixements de la genètica molecular han anat paral·lels al coneixement de les eines necessàries per a la manipulació genètica desenvolupades en els microorganismes. Probablement la culminació d'aquests estudis ha estat el coneixement global del genoma humà, però això és només una part dels nous coneixements biològics. En l'actualitat es coneix ja la seqüència completa del genoma de més de cent microbis i de més de mil virus. Una conseqüència de l'estudi d'aquests genomes serà, sens dubte en un futur no gaire llunyà, l'elucidació de la dotació genètica mínima que ha de tenir un bacteri i molt probablement el disseny i la construcció del primer «ésser viu sintètic». No és necessari insistir aquí en els problemes ètics i morals que provocarà. La missió del científic és comunicar aquestes possibilitats a la societat, ajudar que es creï l'estat d'opinió i fer actuar els polítics i legisladors.

## **MICROBIS I DESENVOLUPAMENT SOSTENIBLE**

El medi ambient és un sistema complex que comprèn factors biòtics i abiòtics; inclou tots els éssers vius o biosfera (home, animals, plantes i microorganismes) i entorns com el sol, l'aire o l'aigua. Els éssers humans constituïm únicament una petita part de tot el sistema, però amb una característica important: ens n'aprofitam. L'existència de l'home és el resultat d'una interacció equilibrada dels cicles dels elements moguts per l'energia solar al llarg de molts segles d'evolució. La biosfera pot continuar existint en absència dels éssers humans, però aquests no poden sense el conjunt de la biosfera. La problemàtica ambiental té el seu origen en la influència de l'home sobre la «biogeosfera». Aquesta influència pot ser tan important que posa en perill l'existència futura de la humanitat. Des del punt de vista científic es tracta d'identificar els problemes, trobar solucions que es puguin aplicar tècnicament per evitar-los i resoldre els danys ja causats. Addicionalment al problema de l'increment de la població humana mundial, es consideren com els més rellevants tres problemes ambientals ben definits:



1) La contaminació ambiental de sòls, aigües i aire com a resultat de la saturació de la funció receptora dels ecosistemes pels abocaments excessius de residus produïts per l'home.

2) El consum excessiu de recursos naturals no renovables, com ara els productes energètics fòssils i les matèries primeres minerals, que duen a l'esgotament de les fonts utilitzades per l'home.

3) La destrucció dels ecosistemes naturals: l'estabilitat global dels ecosistemes necessita la biodiversitat dels organismes creada en el curs de l'evolució per poder assegurar la funció de reciclatge dels cicles globals.

Aquests problemes s'accentuen avui dia perquè estan directament relacionats amb el creixement de la població mundial i per les necessitats creixents de consum de matèries primeres per a l'increment del confort de les societats industrialitzades. Com a conseqüència de l'evolució cultural, l'home deixa d'adaptar-se a la naturalesa i intenta dominar-la a través de la tecnologia. Segons alguns autors, el desenvolupament tecnològic, conjuntament amb l'economia, ha adquirit una dinàmica pròpia que pot passar de l'explotació de la naturalesa al seu extermini. La ciència i les seves aplicacions tecnològiques s'enfronten al nou repte d'integrar els processos industrials als cicles naturals. Atès el nostre punt de vista antropocèntric, el benestar humà segueix sent el punt central, però ara ja és necessari considerar l'home i la naturalesa com una unitat. Això ha conduït al concepte de *desenvolupament sostenible*.

El desenvolupament industrial dels darrers cinquanta anys ha fet que l'acció humana hagi anat adquirint més importància sobre els cicles naturals. El cicle del carboni mou anualment uns mil milions de tones mètriques de carboni. L'economia de les societats industrialitzades es basa en l'energia de les matèries primeres fòssils (petroli, gas i carbó). S'obtenen d'unes fonts enormes, però limitades, esgotables. El 90% del petroli emprat anualment es destina a la producció d'energia domèstica, industrial o al transport; el 10% restant va a la indústria química. En el consum es dona una combustió que provoca l'alliberament de grans quantitats d'anhídrid carbònic, que no es poden compensar pels cicles naturals de fixació i suposen aproximadament un 75% de l'increment de l'efecte hivernacle. Segons fonts de l'OCDE, a finals dels anys vuitanta als països industrialitzats es produïen anualment 1.400 milions de tones mètriques de residus industrials, 400 milions de residus urbans, 300 milions

de residus especials, 6.000 milions d'anhidrid carbònic i uns 200 milions de tones mètriques d'altres emissions de gasos residuals. En aquestes dades s'inclouen residus orgànics i inorgànics, i tant els biodegradables com els persistents. Quan el potencial natural d'eliminació està sobrecarregat, l'ambient no és capaç d'eliminar completament aquestes substàncies, s'eliminen a una taxa inferior a la taxa en què es produeixen i s'acumulen.

Els materials sintètics d'empaquetament són els residus més aparents. Molts són persistents en l'ambient, però són biològicament inerts i no plantegen problemes toxicològics. La problemàtica dels productes químics emprats com a herbicides o plaguicides és diferent. Encara que la seva quantitat sigui molt inferior, actuen sobre els éssers vius, i si no s'eliminen de forma adequada poden enriquir-se a les cadenes tròfiques i tenir conseqüències tòxiques sobre l'home i els ecosistemes. El cas del DDT és ben conegut. És per això que s'intenta trobar productes compatibles ambientalment, que una vegada hagin complert la seva missió es puguin reutilitzar o puguin entrar de nou en els cicles naturals per biodegradació microbiana.

La integració dels processos humans en els cicles naturals dels elements és una meta per aconseguir en el desenvolupament sostenible. Per a això es plantegen els objectius següents:

1. Els residus s'han de produir només en aquelles quantitats que puguin ser eliminades pels ecosistemes. Això implica la reducció en l'eliminació de gasos amb efecte hivernacle, el desenvolupament d'una tecnologia eficaç en la protecció ambiental i la introducció de productes reciclables.
2. S'ha de disminuir el consum de combustibles fòssils i s'han de desenvolupar i aplicar energies renovables.
3. El manteniment de la biosfera i les seves funcions necessita la «biodiversitat» dels ecosistemes, que alhora és la reserva genètica per a nous productes i per a la biotecnologia.

Alguns exemples en aquest context m'ajudaran a explicar com el poder dels microorganismes contribueix a resoldre problemes ambientals.

## **MICROORGANISMES I CICLES DE LA MATÈRIA**

En els cicles de la matèria tenen la funció de descomponedors. Els diferents grups d'organismes ocupen diferents nivells tròfics o de la cadena alimentària en els ecosistemes. Els vegetals actuen com a productors, mentre que els animals i l'home són consumidors, i els microorganismes descomponedors. Pràcticament tots els materials orgànics sintetitzats pels animals o els vegetals poden ser mineralitzats pels microorganismes en condicions aeròbiques. Es coneix humorísticament com a «principi de la infal·libilitat microbiana». D'aquesta manera es reciclen els nutrients perquè els puguin tornar a utilitzar els vegetals com a matèries primeres. Els microorganismes també són capaços de mineralitzar gran nombre de molècules orgàniques sintetitzades per la indústria química i que no es produeixen de forma natural (substàncies xenobiòtiques). Alguns d'ells s'han obtingut específicament per manipulació genètica per construir noves rutes catabòliques, seguint la metodologia indicada a l'apartat referent a la biologia molecular. La biotecnologia ambiental estableix les condicions perquè els microorganismes puguin desenvolupar tot el seu potencial de degradació.

El paper dels microorganismes no se centra tan sols en el seu potencial degradador, sinó que també tenen capacitats biosintètiques. La fixació de nitrogen i els subministraments de fòsfor per als vegetals en la producció primària es deuen a simbiosi amb microorganismes. Els enzims microbians adquireixen també un paper important en la introducció de noves matèries primeres en la indústria.

## **MICROORGANISMES, DEPURACIÓ I PROTECCIÓ D'AIGÜES**

El creixement de les grans ciutats a finals del segle <sup>xviii</sup> va posar de manifest la incapacitat dels cursos naturals per dur a terme un procés natural d'autodepuració: d'aquesta manera es varen saturar els ecosistemes fluvials i es varen provocar, a més, importants epidèmies per la contaminació de les aigües amb microorganismes patògens de transmissió hídrica (per exemple, el còlera). Això va portar a la construcció per part dels enginyers de les depuradores d'aigües residuals, per tal de mineralitzar la matèria orgànica i eliminar-ne simultàniament els microorganismes patògens. Els enginyers sanitaris han considerat les depuradores com una caixa negra en la qual unes comunitats microbianes complien la funció de

depuració, però sense conèixer el que succeïa a l'interior. Aquesta visió està actualment superada i es coneixen amb molta més precisió els microorganismes que hi actuen i com s'ha d'afavorir el seu funcionament.

A partir de la Segona Guerra Mundial va quedar clar que l'eliminació de patògens i de matèria orgànica no constituïa una depuració suficient, perquè les aigües residuals contenien encara grans quantitats de fosfats i nitrats que provocaven l'eutrofització dels cursos naturals on s'aboquen les aigües depurades. Aquest excés de nutrients estimula un creixement massiu d'algues i cianobacteris, que en la seva descomposició posterior pels microorganismes provoca un consum excessiu d'oxigen, que les aigües es converteixen en anaeròbiques i es produeixi sulfhídric en les fermentacions. L'absència d'oxigen i la presència de sulfhídric provoca la mort de molts macroorganismes. L'eutrofització del mar per mecanismes similars pot conduir a les conegudes marees vermelles. És per això que es varen introduir etapes d'eliminació biològica de nitrogen i de fòsfor a les depuradores d'aigües residuals.

Com a conseqüència dels processos degradatius es produeixen grans quantitats de biomassa, que són les encarregades de catalitzar les transformacions/mineralitzacions de la matèria orgànica en les aigües. L'eliminació o reducció d'aquesta biomassa, coneguda com a *fangs* o *llots actius*, s'aconsegueix actualment mitjançant altres processos biològics, com ara el compostatge o la metanització. D'aquesta manera s'obté un material útil en la correcció de sòls i també un substrat energètic (metà) com a subproducte, que en determinades economies s'utilitza com a biogàs, amb una capacitat energètica similar a la del gas natural. Els microorganismes actuen com a elements imprescindibles per a la reutilització de l'aigua i addicionalment proporcionen materials útils en agricultura i també una font energètica renovable. Tots tres aspectes són fonamentals en les noves perspectives del desenvolupament sostenible.

## **SANEJAMENT DE SÒLS I COSTES CONTAMINADES**

Cada vegada més es considera el sòl com un recurs. La pèrdua global de sòl i la seva erosió és un dels grans problemes ambientals. La seva importància en agricultura i silvicultura és evident, però és menys aparent la seva funció com a filtre natural per a la purificació de les aigües subterrànies. Aquesta importància es va posar clarament de manifest per

la contaminació de les aigües potables mitjançant nitrats, herbicides i pesticides a causa de mals usos agrícoles. L'eliminació d'aquestes substàncies de l'aigua de beguda és tan costosa que cal incidir en la reducció d'adobs nitrogenats i en l'abús d'herbicides i plaguicides. Fa tan sols dues dècades es va advertir del perill ambiental que suposen els abocadors com a font de contaminació de les aigües freàtiques, sobretot aquells en els quals s'abocaven productes ambientalment perillosos o fins i tot tòxics per a l'home, com a resultat de les activitats industrials (hidrocarburs aromàtics policíclics, nitrotoluens, metalls pesants). Els últims anys s'han desenvolupat processos de biotecnologia ambiental basats en l'acceleració dels processos de biodegradació o biotransformació en el sòl d'aquestes substàncies tòxiques.

La contaminació marina per petroli és un problema ambiental molt evident. La persistència dels hidrocarburs components del petroli i les seves conseqüències perjudicials en els ecosistemes aquàtics posen de manifest aquesta sobrecàrrega ambiental. No obstant això, vull remarcar que les grans catàstrofes produïdes pels abocaments accidentals de petroliers representen tan sols el 4% de les contaminacions marines per petroli. El 40% aproximadament es deu als aportaments de rius contaminats i a les aigües residuals de les refineries de petroli. L'estimulació dels processos naturals de biodegradació pels microorganismes autòctons sembla que és l'única intervenció viable per part de l'home, una vegada retirats per mètodes físics els contaminants més abundants i accessibles.

## **BIOPREVENCIÓ: PRODUCTES I PROCESSOS AMBIENTALMENT COMPATIBLES**

L'evidència que molts productes químics poden ser molt persistents en l'ambient i que no solament s'acumulen, sinó que també es poden concentrar en les cadenes tròfiques a través de processos de bioconcentració, ha contribuït en gran mesura a la conscienciació ambiental. Els primers indicis es varen obtenir amb el DDT, que arriba a enriquir-se fins a deu mil vegades a les cadenes tròfiques marines. Com a conseqüència d'això es varen retirar de la circulació els productes químics persistents i es varen substituir per altres de compatibles. S'ha vist, per exemple, que els productes de síntesi química d'estructura molecular semblant als productes naturals són més fàcilment biodegradables i per això són ecològicament més aconsellables. S'han desenvolupat nous insec-

ticides d'origen biològic (bioinsecticides) aprofitant les capacitats de microorganismes patògens d'insectes (bacteris, virus i fongs) o s'han copiat molècules vegetals naturals, com els piretroides, per aconseguir insecticides estables i simultàniament biodegradables. La síntesi de plàstics microbians, com els polihidroxialcanoats (PAH), competeix amb plàstics de síntesi química, que tenen l'enorme avantatge de ser biodegradables, alhora que mantenen propietats termoplàstiques similars. En aquest marc, les aportacions de la biotecnologia microbiana són evidents. Cal destacar que la indústria química és la que aprofita més bé el poder dels microorganismes per obtenir molts productes en els quals resulta avantatjós utilitzar-los, o bé perquè són més econòmics o bé perquè la contaminació d'aquestes indústries és molt inferior a la de les indústries químiques.

## EPÍLEG

Confii que després d'aquesta breu exposició us hauré pogut convèncer del paper beneficiós, fins i tot imprescindible, de la majoria de microbis. Alguns d'aquests aspectes, sobretot els relacionats amb temes ambientals, com ara el seu paper en biodegradació, depuració d'aigües i sòls o el compostatge, són estudiats pel nostre grup de treball des de fa més de vint-i-cinc anys a la UIB. Malgrat que el que ens mou és l'interès científic d'aquests temes, no hem eludit l'aplicació d'aquests coneixements a casos pràctics concrets en el nostre entorn. La societat balear ha de ser conscient que la investigació científica és molt cara i que els seus resultats només es poden avaluar a molt llarg termini. No obstant això, hi ha un producte directe de l'activitat científica, que són els llicenciats i doctors. Aquests seran de qualitat si la universitat que els forma realitza investigacions de qualitat; en cas contrari, el nivell dels nostres estudiants serà el d'una escola d'oficis, i la formació dels nostres estudiants és la millor infraestructura que pot tenir la societat balear. La nostra comunitat autònoma és capdavantera en molts aspectes; esperam que aviat ho podrà ser també en docència universitària i en investigació.

Moltes gràcies.

**Jordi Lalucat Jo**

*Catedràtic de Microbiologia de la UIB*

Colònia de Sant Jordi, 29 d'agost de 2004